

*Канд. техн. наук Ю.Я. Водянніков,  
Т.В. Шелейко,  
інж. С.М. Свистун (ДП «УкрНДІВ»)*

*Cand. of techn. sciences Y.Ya. Vodyannikov,  
T.V. Sheleyko, eng. S.M. Svistun*

## ВІДПОВІДНІСТЬ ГАЛЬМІВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАСАЖИРСЬКОГО ПОЇЗДА З ДИСКОВИМИ ГАЛЬМАМИ ЗАДАНИМ ЗНАЧЕННЯМ ГАЛЬМІВНОГО ШЛЯХУ

### COMPLIANCE WITH BRAKE PERFORMANCE PASSENGER TRAINS WITH DISC BRAKES GIVEN VALUE OF STOPPING DISTANCE

*Представив д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов*

**Постановка проблеми.** Створення швидкісного та високошвидкісного пасажирського руху неможливе без використання високоефективних гальмівних систем, до яких у першу чергу слід віднести дискові гальма, що все більше застосовуються у вітчизняному пасажирському вагонобудуванні: ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» створив модельний ряд пасажирських вагонів з дисковими гальмами.

Разом з тим відсутність нормативних вимог до дискових гальмівних систем викликає певні труднощі для оцінки їх

гальмівної ефективності, оскільки на відміну від колодкових дискові гальма реалізують силу натиснення не на поверхнях кочення колісних пар (рис. 1), а на дисках, розташованих на осі колісної пари (рис. 2) або центрах коліс (рис. 3). При цьому реалізований коефіцієнт тертя між диском і накладкою залежить лише від матеріалу накладки (Бекоріт (Німеччина) – 0,38, Френопласт (Польща) – 0,35, Косіда (Чехія) – 0,32) і зберігає своє постійне значення упродовж всього періоду гальмування (рис. 4).

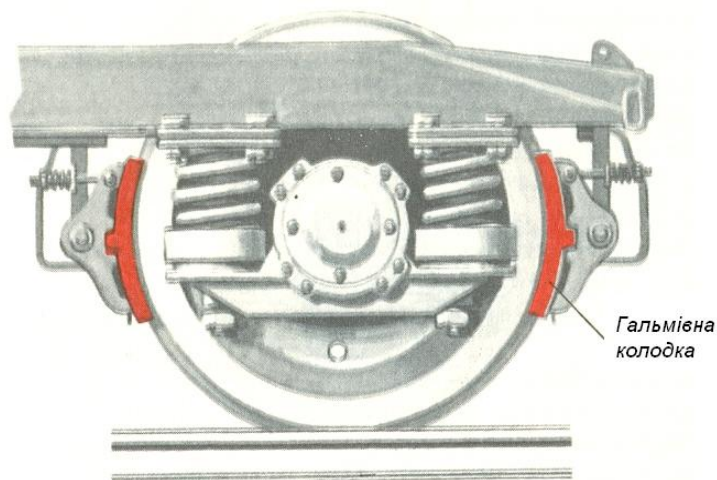


Рис. 1. Реалізація сили натиснення колодковою гальмівною системою

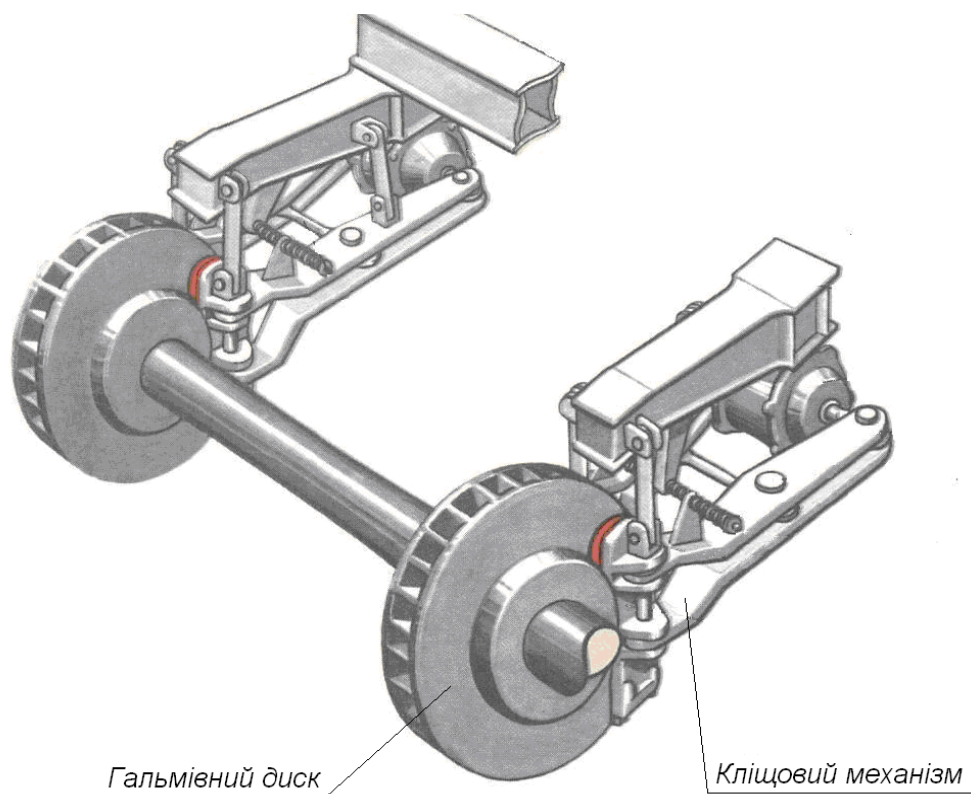


Рис. 2. Гальмівні диски, розташовані на осі колісної пари

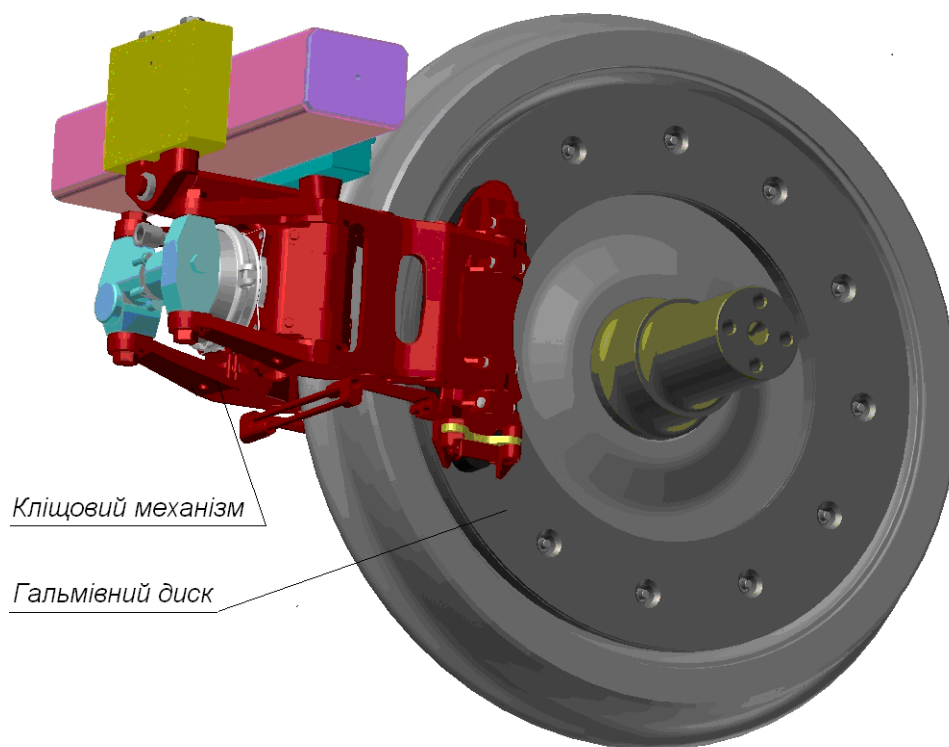


Рис. 3. Гальмівний диск, розташований на колісному центрі

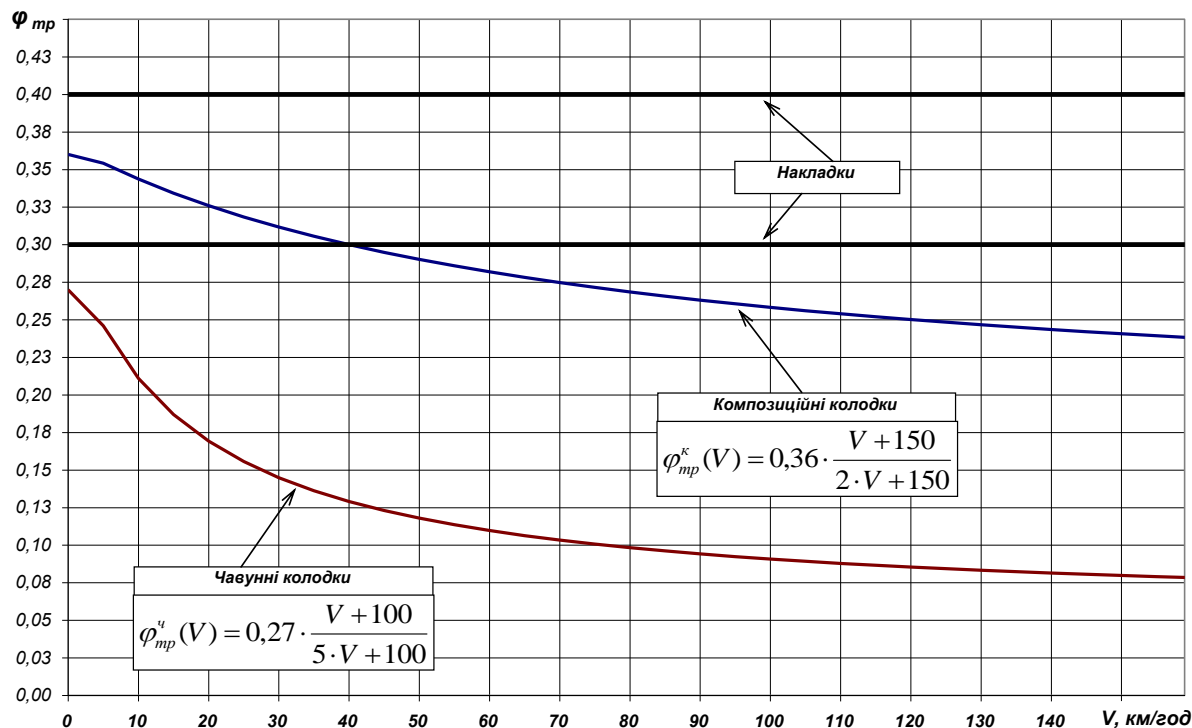


Рис. 4. Залежність коефіцієнтів тертя від швидкості руху

Вказані суттєві відмінності колодкових і дискових гальм зумовлюють необхідність вибору інших критеріїв для оцінки гальмівної ефективності дискових гальмівних систем у порівнянні з колодковими.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Гальмівна ефективність пасажирських вагонів з колодковими гальмами оцінюється за величиною гальмівного коефіцієнта (розрахункового коефіцієнта сили натиснення колодок на поверхні кочення коліс), визначеного як відношення сумарної розрахункової сили натиснення усіх колодок на колеса до ваги вагона. Для допустимих максимальних швидкостей руху поїздів встановлено нормативними документами єдине найменше гальмівне натиснення у перерахуванні на чавунні колодки на кожні 100 тс ваги поїзда [1]. Крім того, гальмівний коефіцієнт для пасажирського поїзда з композиційними колодками та швидкостями руху до 160 км/год за електропневматичного гальмування

повинен бути не менше ніж 0,28 і 0,3 – за пневматичного [2]. При цьому гальмівні шляхи пасажирських поїздів визначаються за таблицями або номограмами залежно від величини гальмівного коефіцієнта [3].

Рух поїзда як єдиної маси у разі несталого гальмування описується нелінійним диференціальним рівнянням [4]:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = -\zeta \cdot \{b_{\partial}(\delta_{\ddot{a}}(t), \varphi_{\partial p}) + \omega_{ox}(v) \pm i_c\} \quad (1)$$

де  $\zeta$  – питоме уповільнення поїзда;

$\omega_{ox}(v)$  – питомий основний опір руху;

$\pm i_c$  – величина ухилу колії;

$b_T$  – питома гальмівна сила, що визначається за формулою [4]:

$$b_{\partial} = \delta_{\ddot{a}}(t) \cdot \varphi_{\partial \delta}, \quad (2)$$

де  $\varphi_{mp}$  – коефіцієнт тертя колодок (накладок);

$\delta_{\ddot{a}}(t)$  – дійсний коефіцієнт сили натиснення гальмівних колодок на колеса або, у разі застосування дискового гальма, накладок на диски, приведений до поверхні кочення колеса:

$$\delta_{\ddot{a}} = \frac{r_{\delta\delta}}{R} \cdot \frac{\sum_{i=1}^m \hat{E}_{\ddot{a}i}}{Q+T}, \quad (3)$$

$K_{\delta i}$  – дійсна сила натиснення  $i$ -ї накладки на диск;

$m$  – кількість гальмівних накладок;

$Q$  – корисне навантаження (вантажопідйомність) вагона;

$T$  – тара вагона;

$r_{mp}$  – радіус тертя гальмівного диска;

$R$  – розрахунковий радіус колеса по колу кочення для нових коліс.

З аналізу формул (1)-(3) стає очевидним, що універсальною характеристикою, яка б враховувала особливості як колодкового, так і дискового гальма, може бути питома гальмівна сила, а за критерій під час визначення параметрів дискової гальмівної системи служить гальмівний шлях пасажирського поїзда.

**Мета статті.** Запропонувати процедуру оцінювання відповідності гальмівної ефективності пасажирського поїзда з дисковими гальмами заданим значенням гальмівного шляху, де як характеристика була б питома гальмівна сила.

**Викладення матеріалу.** У практиці розрахункових досліджень країн СНД найбільше розповсюдження отримав метод числового інтегрування диференціального рівняння руху (1) за інтервалами швидкостей, коли для спрощення під час розв'язання гальмівних задач вводиться допущення, що гальмівна сила, питомий опір руху і величина ухилу у прийнятому інтервалі швидкостей є постійними

величинами, а дійсний гальмівний шлях обчислюється як результат підсумовування гальмівних шляхів, визначених за інтервалами швидкостей [4]:

$$S_T = \frac{V_0 \cdot t_i}{3,6} + \sum_{i=1}^n \frac{4,17 \cdot (v_i^2 - v_{\hat{e}}^2)}{b_T + \omega_{ox} \pm i_c}, \quad (4)$$

де  $S_T$  – повний гальмівний шлях, м;

$V_0$  – швидкість на початку гальмування,

км/год;

$n$  – кількість інтервалів;

$V_i$  і  $V_{\hat{e}}$  – початкова і кінцева швидкість поїзда у прийнятому розрахунковому інтервалі швидкостей, км/год;

$t_i$  – час підготування автогальм до дії, с.

Для пасажирських поїздів [5]:

за пневматичного гальмування

$$t_i = 4 - \frac{5 \cdot i_c}{b_T}; \quad (5)$$

за електропневматичного гальмування

$$t_i = 2 - \frac{3 \cdot i_c}{b_T}. \quad (6)$$

Виходячи з прийнятого критерію гальмівної ефективності пасажирських поїздів з дисковими гальмами були побудовані номограми залежності питомої гальмівної сили від гальмівного шляху (рис. 5-10).

Як приклад визначимо гальмівну ефективність, яка забезпечувала б максимальний гальмівний шлях пасажирського поїзда на площадці за екстреного пневматичного гальмування для швидкості 160 км/год не більше ніж 1300 м. Послідовність вибору характеристик може бути подана такими операціями:

1. За номограмою на рис. 6 визначаємо питому гальмівну силу поїзда для гальмівного шляху 1300 м, що складає  $b_T = 0,091$ .

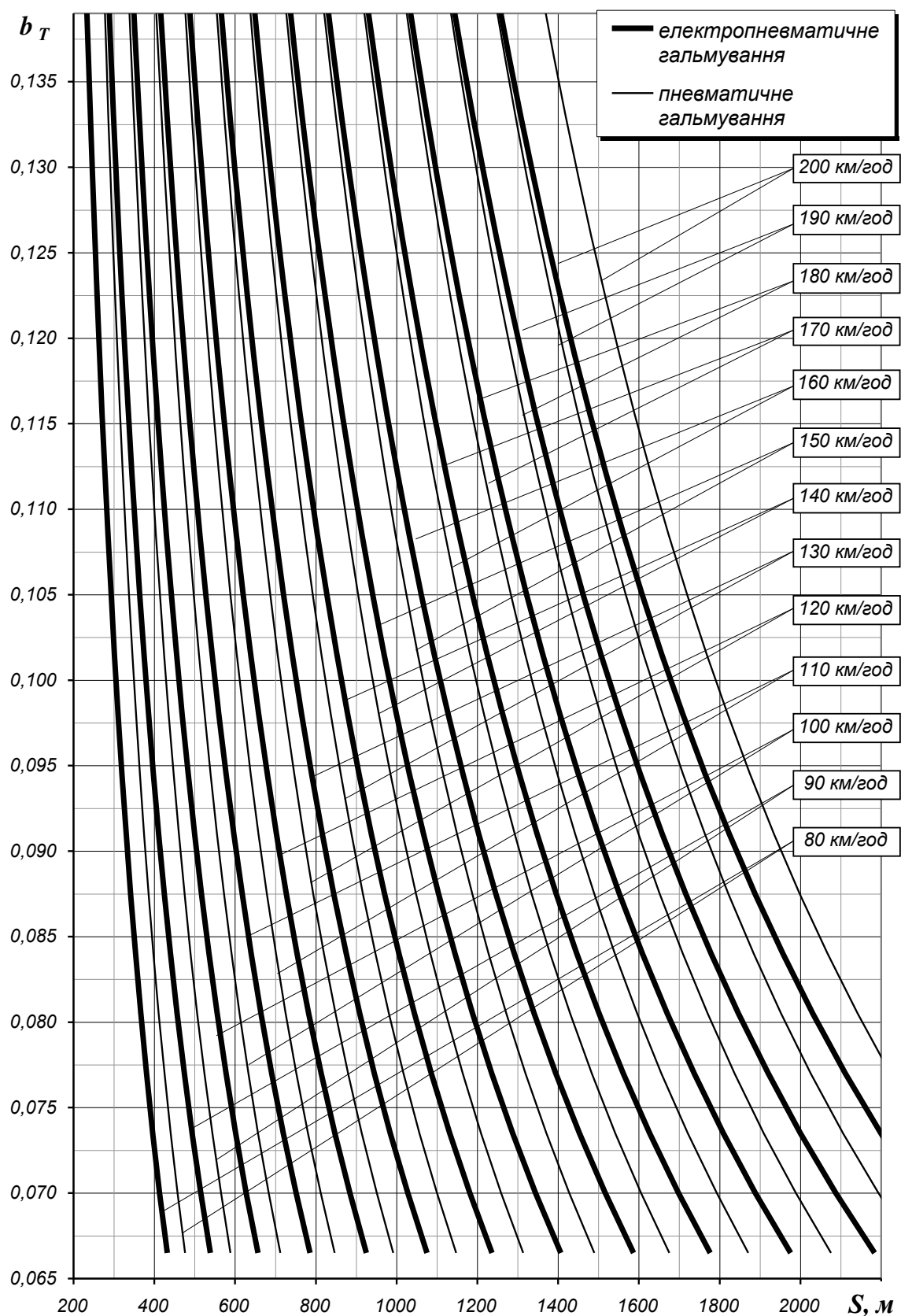


Рис 5. Номограма для визначення питомої гальмівної сили пасажирського поїзда у разі екстреного гальмування на площадці

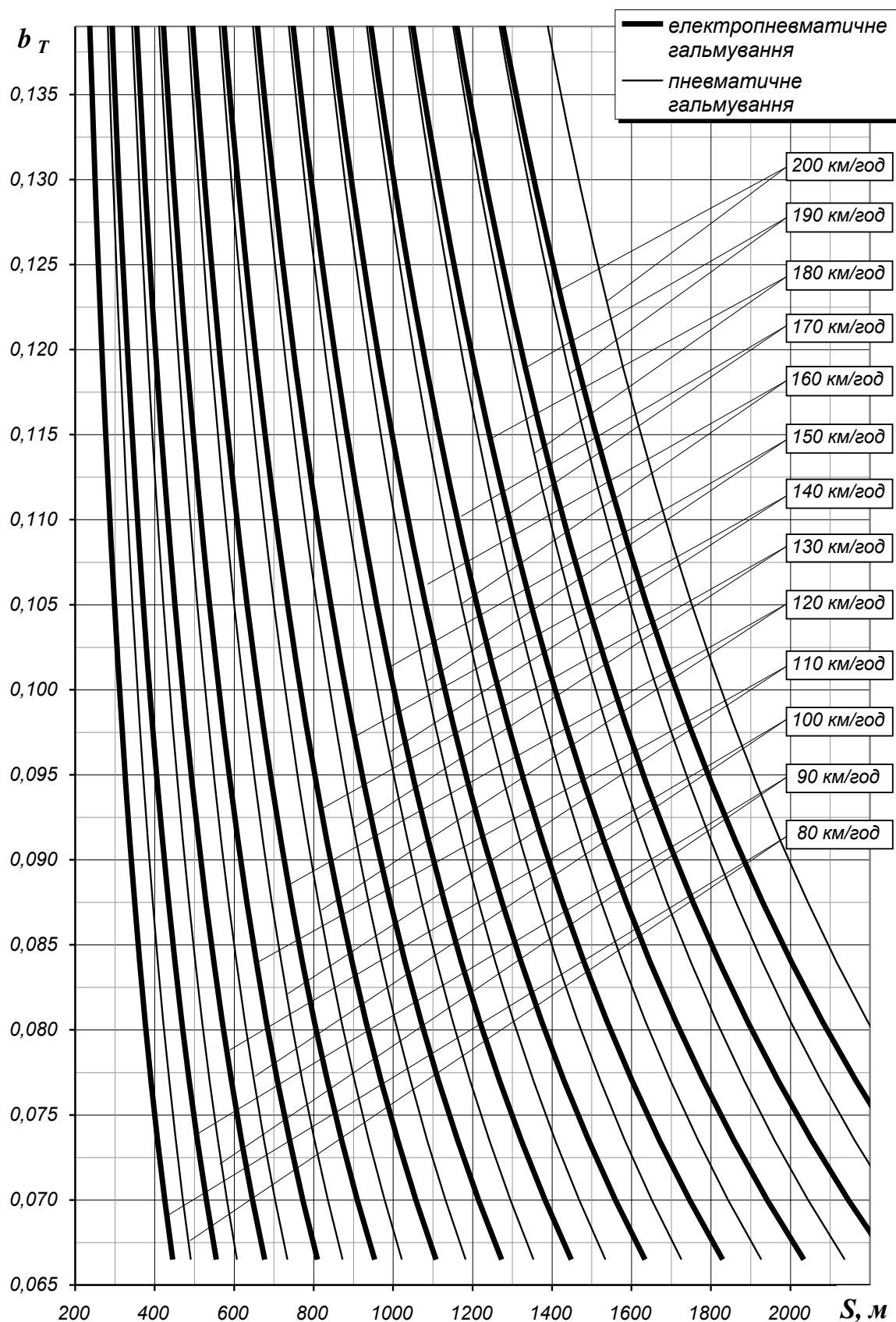


Рис. 6. Номограма для визначення питомої гальмівної сили пасажирського поїзда у разі екстреного гальмування на спуску 2 ‰

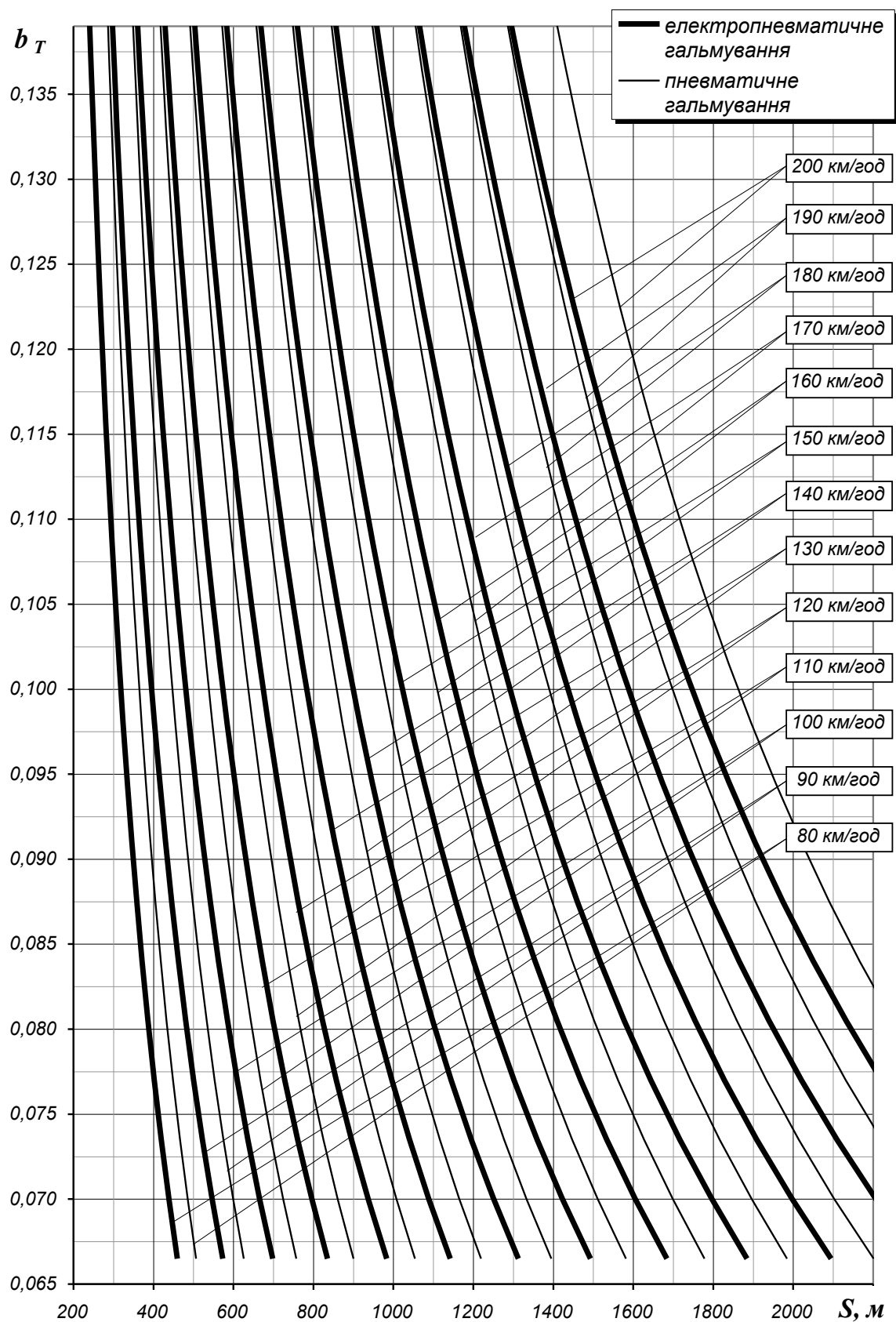


Рис. 7. Номограма для визначення питомої гальмівної сили пасажирського поїзда у разі екстреного гальмування на спуску 4 ‰

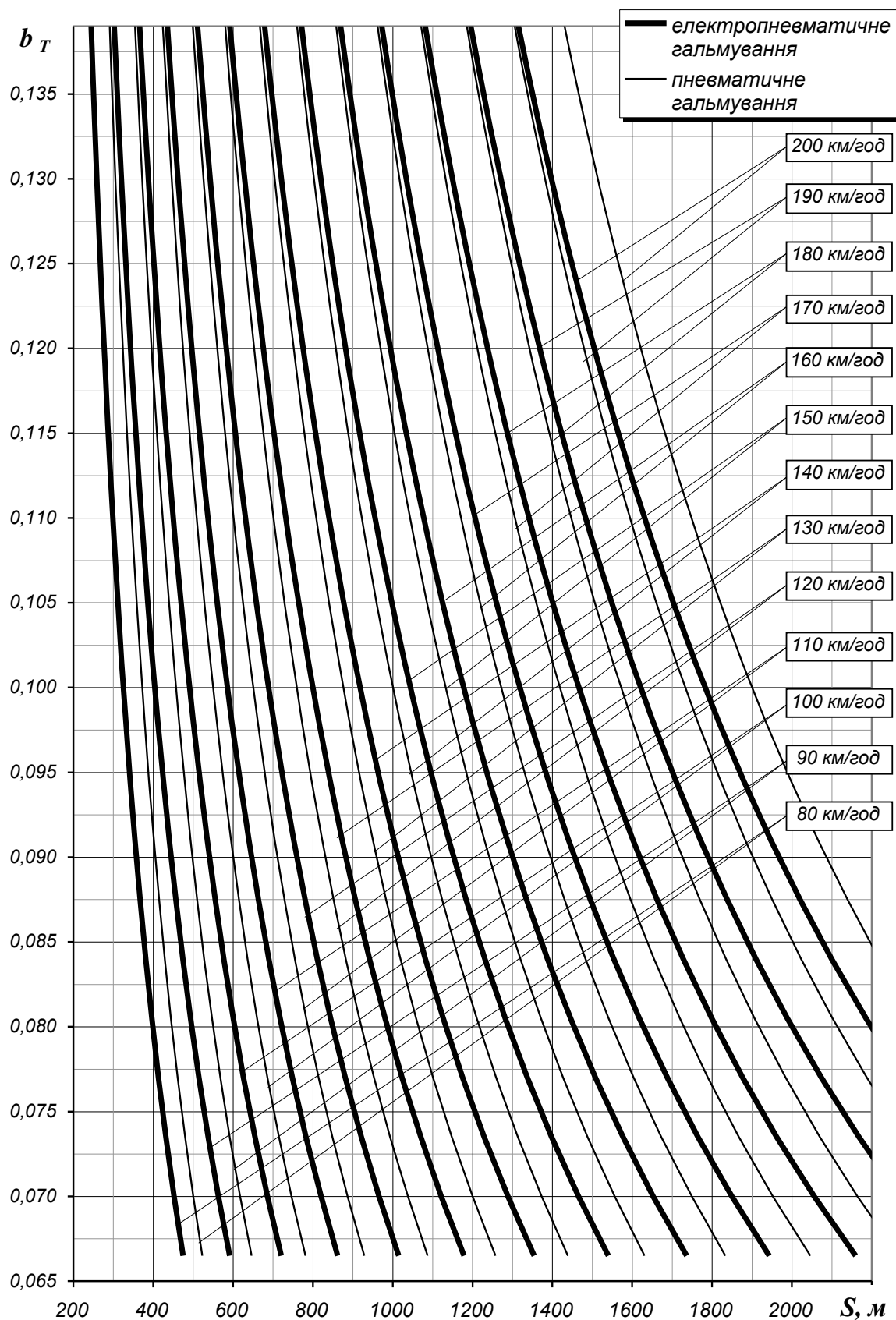


Рис. 8. Номограма для визначення питомої гальмівної сили пасажирського поїзда у разі екстреного гальмування на спуску 6 ‰



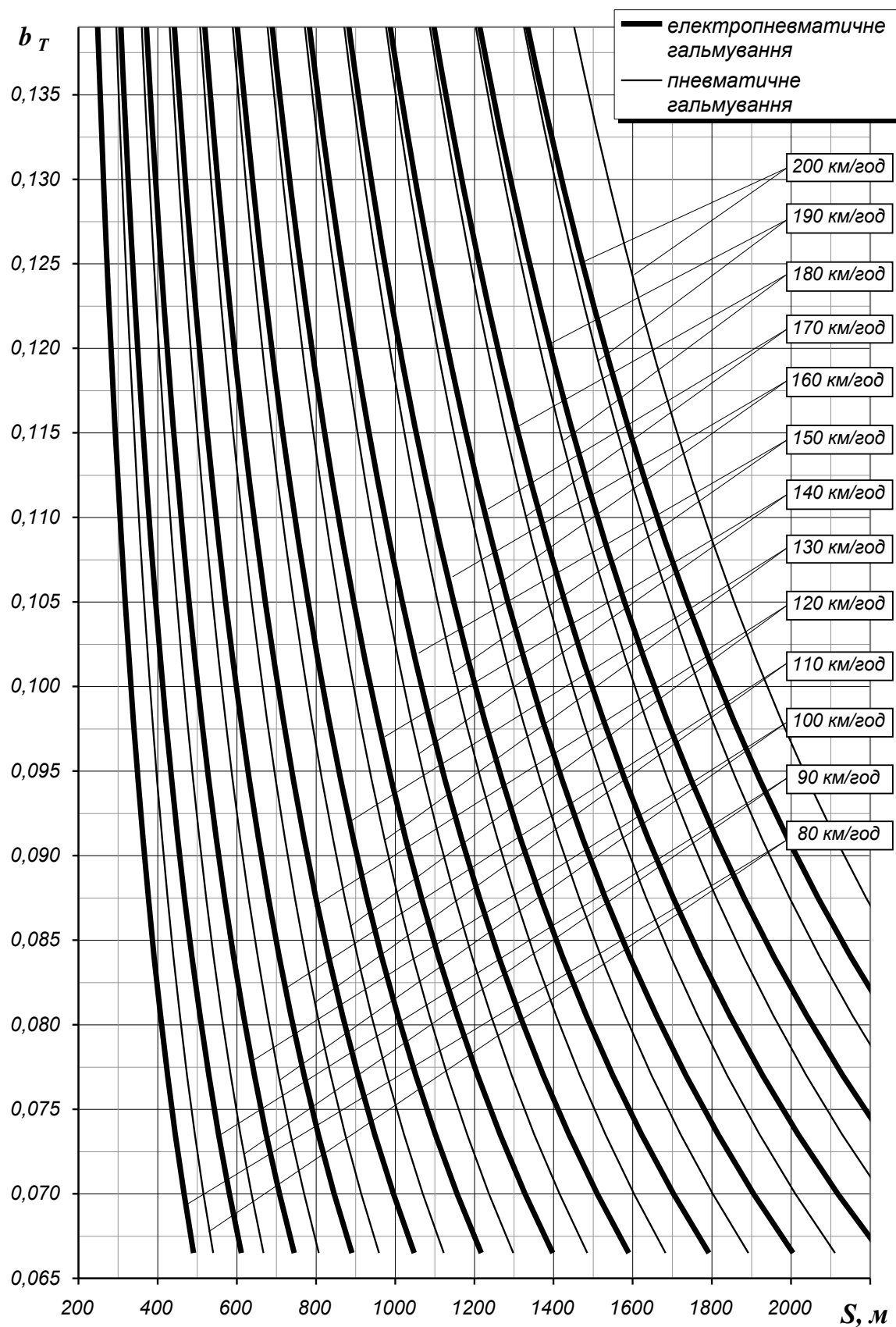


Рис. 9. Номограма для визначення питомої гальмівної сили пасажирського поїзда у разі екстреного гальмування на спуску 8 ‰

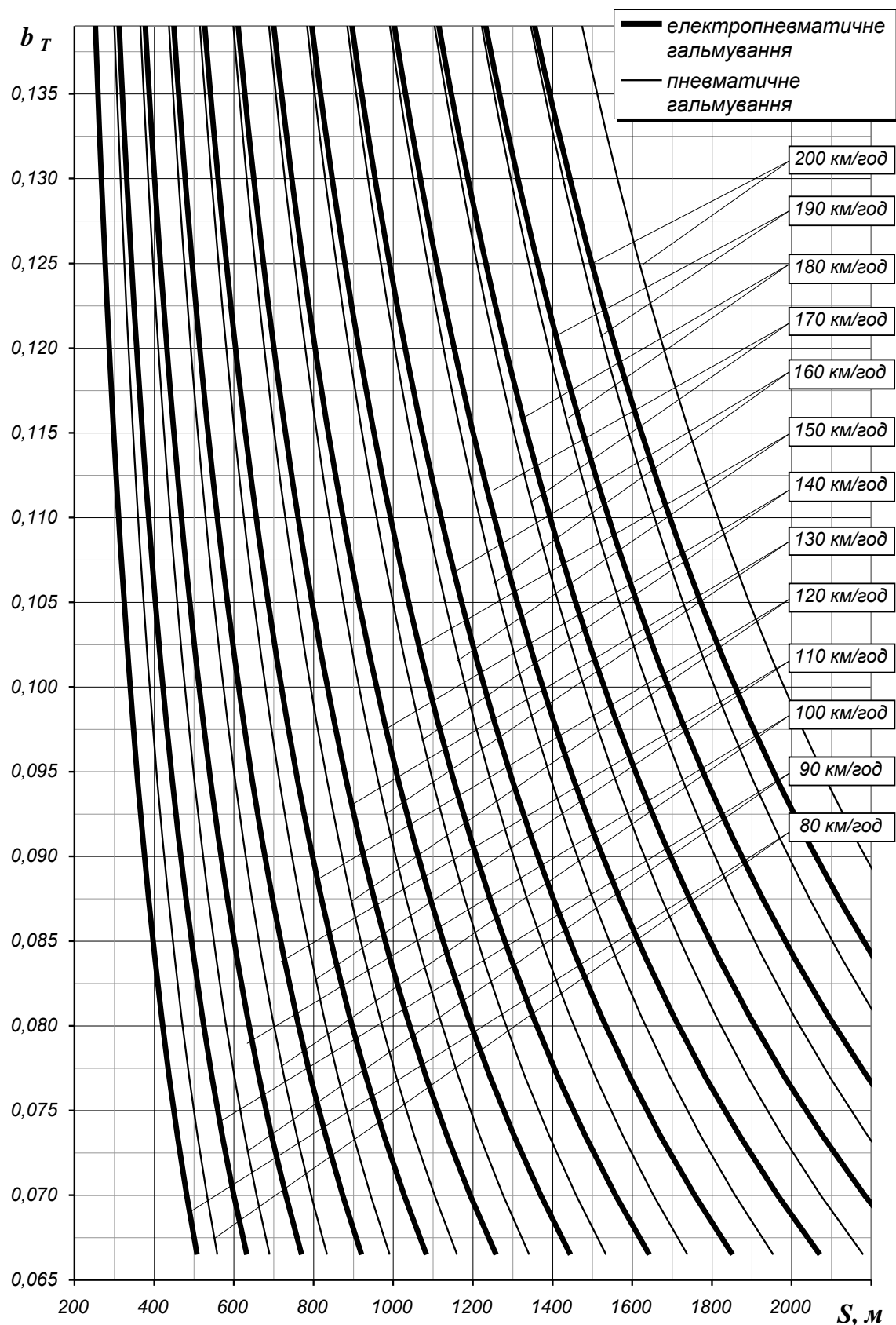


Рис. 10. Номограма для визначення питомої гальмівної сили пасажирського поїзда у разі екстреного гальмування на спуску 10 ‰

2. Визначаємо гальмівні шляхи поїзда у разі швидкості на початку гальмування 160 км/год на нормованих спусках 6 і 10 ‰, які не повинні відповідно до [6] перевищувати 1600 і 1700 м. За номограмами на рис. 8 і 10 знайдемо  $S(-6 ‰)=1380$  м і  $S(-10 ‰)=1450$  м, що відповідає вказаній вимозі.

Таким чином, мінімально допустиме значення питомої гальмівної сили пасажирського поїзда задля реалізації гальмівного шляху на площадці 1300 м зі швидкості 160 км/год складає  $|b_T|=0,091$ .

Також розглянемо обернену задачу, коли необхідно визначити питому гальмівну силу, яка забезпечувала б гальмівні шляхи пасажирського поїзда 1600 і 1700 м у разі швидкості на початку гальмування 200 км/год за екстреного пневматичного гальмування на нормованих спусках 6 і 10 ‰.

Використовуючи номограми на рис. 8 і 10, знаходимо  $b_T(-6 ‰)=0,1225$ ,

$b_T(-10 ‰)=0,119$ . Вибираючи найбільше значення, допустима величина питомої гальмівної сили складає  $|b_T|=0,119$ . При цьому гальмівний шлях пасажирського поїзда на площадці у разі швидкості на початку гальмування 200 км/год буде дорівнювати 1516 м (рис. 6).

**Висновки.** Пропоновані номограми дозволяють на стадії проектування одиниць пасажирського рухомого складу з дисковими гальмами виконувати вибір питомої гальмівної сили, що відповідає заданому значенню гальмівного шляху.

Таким чином, відповідність гальмівної ефективності пасажирського поїзда з дисковими гальмами заданим значенням гальмівного шляху на стадії проектування одиниць пасажирського рухомого складу може перевірятися з використанням запропонованого алгоритму і номограм залежності питомої гальмівної сили від гальмівного шляху.

### *Список літератури*

1. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України [Текст]. – К.: Транспорт України, 2002. – 143 с.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 260 с.
3. Р 549/2. Методика расчета тормозов пассажирских вагонов колеи 1520 мм [Текст]. – Варна, Республика Болгария: Организация сотрудничества железных дорог, 2005. – 12 с.
4. Гребенюк, П.Т. Правила тормозных расчетов [Текст] / П.Т. Гребенюк / Труды ВНИИЖТ. – М.: Интекст, 2004. – 112 с.
5. Иноземцев, В.Г. Нормы и методы расчета автотормозов [Текст] / В.Г. Иноземцев, П.Т. Гребенюк. – М.: Транспорт, 1971. – 56 с.
6. ЦШ-0001. Інструкція з сигналізації на залізницях України [Текст]. – К.: ТОВ «Інпрес», 2008. – 160 с.

**Ключові слова:** пасажирський поїзд, дискове гальмо, колодкове гальмо, гальмівний шлях, питома гальмівна сила, гальмівний коефіцієнт.

### *Анотації*

Запропоновано процедуру оцінювання відповідності гальмівної ефективності пасажирського поїзда чинним нормативним вимогам, де за універсальну характеристику гальмівної системи беруть питому гальмівну силу, а за критерій – гальмівний шлях пасажирського поїзда. Наведено номограми для визначення питомої гальмівної сили

пасажирського поїзда з дисковим гальмом за заданим значенням гальмівного шляху в діапазоні швидкостей (80-200) км/год.

Предложена процедура оценки соответствия тормозной эффективности пассажирского поезда действующим нормативным требованиям, где в качестве универсальной характеристики тормозной системы принята удельная тормозная сила, а за критерий – тормозной путь пассажирского поезда. Представлены номограммы для определения удельной тормозной силы пассажирского поезда с дисковым тормозом по заданному значению тормозного пути в диапазоне скоростей (80-200) км/ч.

Conformity assessment method of the passenger train braking efficiency to operating normative requirements, where specific braking force is taken as a universal braking force characteristic, and braking distance of a passenger train is taken as its criterion, was proposed. Nomograms for determining specific braking force of the passenger train with the disk brake by a given value of the braking distance in the speed range (80-200) km/h are given.